ARUP

Amazon Data Service Italy srl

Progetto di Data Center Edificio A (Zibido San Giacomo)

ADS Italy srl – Progetto di Data Center Edificio A (Zibido San Giacomo)

Valutazione Previsionale Impatti Vibrazionali

A |30 Giugno 2026

This report takes into account the particular instructions and requirements of our client. It is not intended for and should not be relied upon by any third party and no responsibility is undertaken to any third party.

Job number 306134-00

Ove Arup & Partners
Corso Italia 1
Milan, 20122
Italy
arup.com

Signed with NamirialSign
MATTEO BRUNO
01/07/2026 12:36:04 UTC+0200

ARUP

Document Verification

Project title	ADS Edificio A
Document title	ADS Edificio A_ Valutazione Previsionale Impatti Vibrazionali
Job number	306134
Document ref	n/a
File reference	

Revision	**Date**	**Filename**	ADS Edificio A_ Valutazione Previsionale Impatti Vibrazionali		
A	30 Giugno 2026	**Description**	SIA_Integrazioni contributi MASE – Allegato su Valutazione Previsionale Impatti Vibrazionali		
			Prepared by	**Checked by**	**Approved by**
		Name	DP AC	AS	SL
		Signature			
		Filename			
		Description			
			Prepared by	**Checked by**	**Approved by**
		Name			
		Signature			

Issue Document Verification with Document ✓

Valutazione Previsionale Impatti Vibrazionali

Indice

Introduzione **4**

1. Inquadramento normativo **5**

1.1 Riferimenti legislativi 5
1.2 Linee Guida MASE D.D. VA n. 257 del 02/08/2024 16

2. Inquadramento dell'area **17**

2.1 Inquadramento territoriale 17
2.2 Individuazione dei recettori 19

3. Valutazione dell'impatto vibrazionale **22**

3.1 Valutazione del clima vibrazionale attuale 22
3.2 Metodologia di valutazione impatti vibrazionali 22
3.3 Valutazione dei potenziali impatti vibrazionali in fase di cantiere 23
3.4 Valutazione dei potenziali impatti vibrazionali in fase di esercizio 25

4. Conclusioni **30**

Introduzione

Il presente documento costituisce la Valutazione Previsionale di Impatto Vibrazionale per il progetto di realizzazione di un datacenter sito nel Comune di Zibido San Giacomo (MI) e costituisce risposta alla richiesta di documentazione integrativa nell'ambito della Procedura di Valutazione d'Impatto Ambientale ai sensi dell'art. 23 del D.lgs. 152/2006 e ss.mm.ii. relative al progetto "*Regione AWS Europe (Milan) - Espansione - Datacenter Edificio A nel comune di Zibido San Giacomo (MI)*".

In particolare, risponde alla richiesta n. 10 del capitolo *Rumore e Vibrazioni.*

Lo scopo del presente studio è pertanto la valutazione previsionale dell'impatto vibrazionale dei nuovi impianti da installare sviluppata in riferimento alla UNI 9614:2017 "Misura delle vibrazioni negli edifici e criteri di valutazione del disturbo". In particolare, si propone di:

- valutare i livelli di emissione delle vibrazioni generati durante la fase di esercizio del data center all'interno dei ricettori individuati nell'area di studio;
- valutare l'impatto delle vibrazioni in fase di cantiere;
- verificare l'eventuale conformità ai limiti delle vibrazioni previste dalla norma nazionale.

Si precisa che la presente valutazione ha carattere preliminare e previsionale ed è stata sviluppata sulla base dei dati tecnici disponibili in fase progettuale, integrati con informazioni desunte dalla letteratura tecnica di settore e mediante l'adozione di ipotesi cautelative nella modellazione della propagazione delle vibrazioni nel terreno, al fine di garantire un approccio conservativo nella stima degli impatti.

1. Inquadramento normativo

Lo studio vibrazionale è stato sviluppato coerentemente a quanto prescritto dal quadro normativo e tecnico vigente. Nel seguito si riporta l'elenco dei principali riferimenti legislativi e tecnico-normativi di interesse per la presente relazione, con particolare riferimento alla valutazione del disturbo alle persone ai sensi della **UNI 9614:2017**.

1.1 Riferimenti legislativi

A differenza del rumore ambientale, regolamentato a livello nazionale da un quadro normativo cogente, allo stato attuale non esiste una legge nazionale che stabilisca limiti quantitativi generali per l'esposizione della popolazione alle vibrazioni trasmesse agli edifici. Esistono tuttavia numerose norme tecniche, emanate in sede nazionale e internazionale, che costituiscono un riferimento consolidato per la misura delle vibrazioni, per la valutazione del disturbo alle persone e, ove necessario, per la valutazione degli effetti sugli edifici. In tale ambito è universalmente riconosciuta la competenza dell'UNI quale ente preposto alla normazione tecnica nazionale.

In particolare, le norme di interesse per il presente studio di impatto sono:

- Norma UNI 9614:1990 "Misura delle vibrazioni negli edifici e criteri di valutazione del disturbo"
- Norma UNI 9614:2017 "Misura delle vibrazioni negli edifici e criteri di valutazione del disturbo"
- Norma UNI 9916:2004 "Criteri di misura e valutazione degli effetti delle vibrazioni sugli edifici"

Vi sono, inoltre, norme internazionali di riferimento, fra cui:

- ISO 8041 Human response to vibration – Measuring instrumentation
- ISO 2631-1, Mechanical vibration and shock evaluation of human exposure to whole-body vibration, Part 1: General requirements, 1997
- ISO 2631-2, Evaluation of human exposure to whole-body vibration, Part 2: Continuos and shock-induced vibration in buildings (1 to 80 Hz), 1989
- ISO 5347, Metodi per la calibrazione dei rilevatori di vibrazioni
- ISO 5348, Montaggio meccanico degli accelerometri
- ISO 1683, Acoustics – Preferred reference quantities for acoustic levels, 1983
- DIN 4150, Vibrations in building. Part 1: Principles, predetermination and measurement of the amplitude of oscillations, 1975
- DIN 4150-2, Vibrations in building. Part 2: Influence on persons in buildings, 1975
- DIN 4150-3, Vibrations in building. Part 3: Influence on constructions, 1975

La presente valutazione è stata sviluppata con riferimento prioritario alla **UNI 9614:2017**, in quanto la revisione del 2017 ha introdotto un approccio metodologico più moderno e maggiormente coerente con la normativa tecnica internazionale rispetto alla precedente edizione del 1990. Tale norma costituisce pertanto il riferimento principale per la stima dei

livelli vibrazionali presso i recettori e per il confronto con i valori di accettabilità del disturbo alle persone.

1.1.1 ISO 2631 "Valutazione sull'esposizione del corpo umano alle vibrazioni"

La ISO 2631-2 si applica a vibrazioni trasmesse da superfici solide lungo gli assi x, y e z per persone in piedi, sedute o coricate. Il campo di frequenze considerato è 1÷80 Hz e il parametro di valutazione è il valore efficace dell'accelerazione a_{rms} definito come:

$$a_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T a^2(t)\,dt}$$

dove a(t) è l'accelerazione in funzione del tempo, T è la durata dell'integrazione nel tempo dell'accelerazione. La norma definisce tre curve base per le accelerazioni e tre curve base per le velocità (in funzione delle frequenze di centro banda definite per terzi di ottava) che rappresentano le curve approssimate di uguale risposta in termini di disturbo, rispettivamente per le accelerazioni riferite all'asse Z, agli assi X, Y e alla combinazione dei tre assi. L'Annex A della ISO 2631-2 (che non rappresenta peraltro parte integrante della norma) fornisce informazioni sui criteri di valutazione della risposta soggettiva alle vibrazioni; in pratica sono riportati i fattori di moltiplicazione da applicare alle curve base delle accelerazioni e delle velocità al variare del periodo di riferimento (giorno e notte), del tipo di vibrazione (vibrazioni continue o intermittenti, vibrazioni transitorie) e del tipo di insediamento (ospedali, laboratori di precisione, residenze, uffici, industrie). Le vibrazioni devono essere misurate nel "punto di ingresso" nel corpo umano e deve essere rilevato il valore di accelerazione r.m.s. perpendicolarmente alla superficie vibrante. Nel caso di edifici residenziali in cui non è facilmente definibile un asse specifico di vibrazione, in quanto lo stesso edificio può essere usato da persone in piedi o coricate in diverse ore del giorno, la norma presenta una curva limite che tiene conto delle condizioni più sfavorevoli combinate in tre assi.

1.1.2 UNI 9614 "Misura delle vibrazioni negli edifici e criteri di valutazione del disturbo"

La UNI 9614:1990 "Vibrazioni - Misura delle vibrazioni negli edifici e criteri di valutazione del disturbo" considera i diversi tipi di sollecitazione vibratoria: livelli costanti, non costanti, impulsivi. La norma definisce metodologia di misura e analisi del segnale al fine di quantificare il disturbo da vibrazioni verso le persone. La vibrazione viene espressa attraverso il concetto di accelerazione:

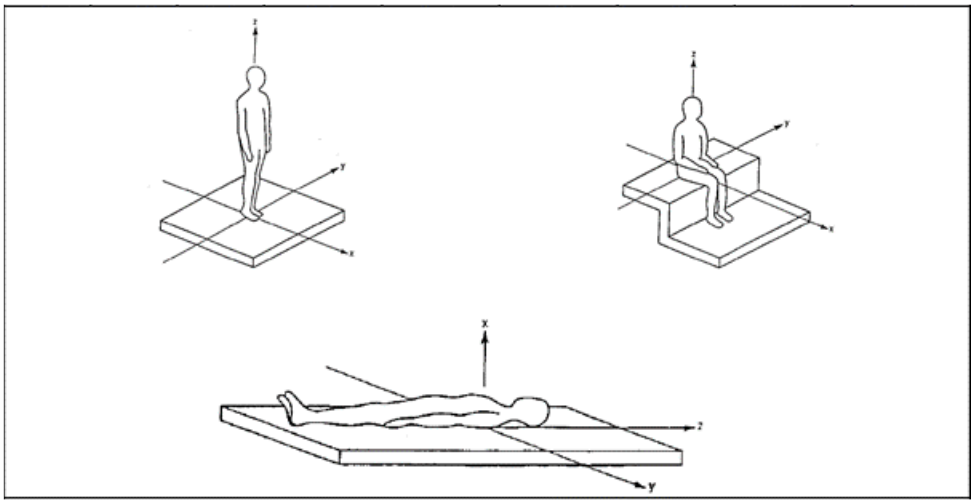
$$a = \sqrt{\frac{1}{T}\cdot\int_0^T a(t)^2\,dt}$$

o del suo equivalente livello di accelerazione (espressione in dB dell'accelerazione espressa in m/s2):

$$L_{acc} = 20\cdot\lg\left[\frac{a}{a_0}\right] \qquad a_0 = 10^{-6}\ m/s^2$$

Nella definizione di accelerazione ponderata a_w prevista dalla norma (che prevede una pesatura in frequenza in funzione della direzione della vibrazione) si fa riferimento al seguente schema.

Frequenza [Hz]			Ponderazione per le Accelerazioni [dB]			Ponderazione per le Velocità [dB]		
centrale	Estremo inferiore	Estremo superiore	Postura Longitudinale (asse z)	Postura Trasversale (asse x-y)	Postura non nota o Variabile	Postura Longitudinale (asse z)	Postura Trasversale (asse x-y)	Postura non nota o Variabile
1.00	0.89	1.12	-6.0	0.0	0.0	-24.0	-6.0	-15.0
1.25	1.12	1.41	-5.0	0.0	0.0	-21.0	-4.0	-13.0
1.60	1.41	1.78	-4.0	0.0	0.0	-18.0	-2.0	-11.0
2.00	1.78	2.24	-3.0	0.0	0.0	-15.0	0.0	-9.0
2.50	2.24	2.82	-2.0	-2.0	-0.5	-12.0	0.0	-7.5
3.15	2.82	3.55	-1.0	-4.0	-1.0	-9.0	0.0	-6.0
4.00	3.55	4.47	0.0	-6.0	-1.5	-6.0	0.0	-4.5
5.00	4.47	5.62	0.0	-8.0	-2.0	-4.0	0.0	-3.0
6.30	5.62	7.08	0.0	-10.0	-2.5	-2.0	0.0	-1.5
8.00	7.08	8.91	0.0	-12.0	-3.0	0.0	0.0	0.0
10.00	8.91	11.22	-2.0	-14.0	-5.0	0.0	0.0	0.0
12.50	11.22	14.13	-4.0	-16.0	-7.0	0.0	0.0	0.0
16.00	14.13	17.78	-6.0	-18.0	-9.0	0.0	0.0	0.0
20.00	17.78	22.39	-8.0	-20.0	-11.0	0.0	0.0	0.0
25.00	22.39	28.18	-10.0	-22.0	-13.0	0.0	0.0	0.0
31.50	28.19	35.48	-12.0	-24.0	-15.0	0.0	0.0	0.0
40.00	35.48	44.67	-14.0	-26.0	-17.0	0.0	0.0	0.0
50.00	44.67	56.23	-16.0	-28.0	-19.0	0.0	0.0	0.0
63.00	56.24	70.79	-18.0	-30.0	-21.0	0.0	0.0	0.0
80.00	70.80	89.12	-20.0	-32.0	-23.0	0.0	0.0	0.0



I valori limite sono differenziati per tipologia insediativa, per tipo di segnale (durata, caratteristiche) e per asse di sollecitazione. Per valori di sollecitazione vibratoria costante e non costante (dove per quest'ultima viene richiesta un'integrazione dei valori misurati), i valori limite sono riportati nella seguente tabella.

Classe	Destinazione d'uso del territorio	Livello L_{eff} [dB] (°)			Accelerazione A_{eff} [mm/s²]			Velocità V_{eff} [μm/s]		
		L (z)	T (x-y)	V (x-y-z)	L (z)	T (x-y)	V (x-y-z)	L (z)	T (x-y)	V (x-y-z)
I	Aree critiche (1)	74	71	71	5,0	3,6	3,6	100	280	100
II	Abitazioni (notte)	77	74	74	7,0	5,0	5,0	140	400	140
III	Abitazioni (giorno)	80	77	77	10,0	7,2	7,2	200	560	200
IV	Uffici	86	83	83	20,0	14,4	14,4	400	1.100	400
V	Fabbriche	92	89	89	40,0	28,8	28,8	800	2.200	800

L componente longitudinale (riferita alla spina dorsale dell'uomo) .....(Asse z)
T componente trasversale (riferita alla spina dorale dell'uomo) .....(Assi x-y)
V nel caso di postura variabile o non nota .....(Assi x-y-z)
(°) 0 dB ≅ 1 μm/s² (10^{-6} m/s²)

(1) Per aree critiche si intendono edifici particolarmente sensibili alle vibrazioni, quali ad es. laboratori metrologici, fabbricati industriali contenenti apparecchiature sensibili alle vibrazioni (microscopi elettronici…).

La UNI 9614:1990 definisce tre tipologie di segnali vibratori:

- vibrazioni di livello costante
- vibrazioni di livello non costante
- vibrazioni impulsive

Il segnale vibratorio prodotto dalle vibrazioni stradali può essere considerato come una vibrazione di livello non costante e dunque per tale tipologia di segnale la valutazione deve avvenire su un "intervallo di tempo rappresentativo" dell'evento (app. A.2 norma UNI 9614).

Su tale intervallo è possibile effettuare due tipi di valutazioni: nel caso in cui si scelga un approccio maggiormente cautelativo si può operare sul massimo valore raggiunto durante l'evento del transito, mentre in alternativa si può lavorare sul concetto di media energetica sulla durata dell'evento.

In generale, la valutazione delle vibrazioni negli studi, sono eseguite sul valore medio del valore efficace (RMS) della vibrazione su un intervallo equivalente alla durata dell'evento di transito.

Per quanto riguarda la direzione del rilievo la norma UNI 9614 prescrive di eseguire i rilievi "lungo i tre assi ortogonali o secondo l'asse lungo il quale le vibrazioni sono più elevate". Negli studi è considerata la seconda ipotesi, di applicare la ponderazione asse Z all'asse verticale e la ponderazione X-Y per gli assi orizzontali. I limiti applicabili saranno pertanto:

Direzione Asse	Soglia di percezione Law (dB)	Limite di accettabilità per abitazioni Law (dB)	Limite di accettabilità per uffici Law (dB)
Asse Z	74	77	86
Assi X-Y	71	74	83

In riferimento alla UNI 9614:2017, essendo essa presa a rifermento nello studio, si riporta di seguito la descrizione dettagliata della norma.

Nel settembre 2017, dopo una lunga fase preparatoria, è stato emanato l'aggiornamento della norma UNI 9614:1990. L'aggiornamento si è reso necessario per mettere a punto un approccio più moderno alla valutazione del disturbo da vibrazioni e per tenere conto dei progressi delle tecniche di misura e della normativa internazionale vigente.

La norma, come già illustrato, riguarda il metodo di misurazione delle vibrazioni immesse negli edifici ad opera di sorgenti interne o esterne agli edifici ed i criteri di valutazione del disturbo delle persone all'interno degli edifici stessi. La nuova versione della norma modifica in modo sostanziale la vecchia, introducendo un approccio innovativo per le modalità di valutazione dei disturbi da vibrazioni, facendo riferimento alla norma ISO 2631.2:2003 per i metodi di misura e valutazione, ed alla norma norvegese NS 8176.E.

La norma è applicabile a tutti i fenomeni che possono originare vibrazioni negli edifici, come, ad esempio, traffico su gomma o su rotaia, attività industriali o di specifici macchinari, attività di cantiere, esplosioni, ecc.; non è invece applicabile a vibrazioni derivanti da fenomeni sismici, alla valutazione di danni strutturali, architettonici o "cosmetici" agli edifici, per la quale esistono altre norme di riferimento, all'esame di problematiche connesse all'igiene sul lavoro, o alle attività di manutenzione preventiva/predittiva di macchinari o di influenza su strumenti particolarmente sensibili. Non si applica inoltre a casi di frequenze vibrazionali inferiori al terzo di banda d'ottava centrato a 1 Hz.

Anzitutto la nuova norma 9614:2017 distingue i tipi di sorgenti in base a:

- posizione: interna o esterna agli edifici;
- funzione: per sorgenti legate ad "attività essenziali" di pubblico servizio, per le quali un'eventuale disattivazione potrebbe generare un'interruzione di pubblico servizio con danni a persone, cose o attività, possibili pericoli o problemi di ordine pubblico, ecc. (ospedali, gasdotti, elettrodotti, acquedotti, ecc.); per sorgenti legate ad "attività non interrompibili", per le quali non è possibile, a meno di interventi di manutenzione programmata o straordinaria, interrompere in tempi rapidi l'attività senza produrre danni o pericoli o alterazioni di prodotto (sorgenti industriali e/o a ciclo continuo, impianti di produzione/distribuzione di energia, sistemi di trasporto pubblico); per sorgenti "di altra natura";
- caratteristiche di durata delle vibrazioni prodotte: per sorgenti continue o semi-continue (impianti industriali); per sorgenti intermittenti presenti per gran parte della giornata (strade, metropolitane, ferrovie); per sorgenti intermittenti presenti per una parte limitata della giornata (ascensori interni a un edificio); per sorgenti temporanee presenti per gran parte della giornata (cantieri); per sorgenti temporanee presenti per una parte limitata del giorno.

La classificazione di cui sopra viene proposta come descrittore univoco per l'identificazione dei fenomeni.

Le misure devono essere eseguite dopo un'analisi accurata dei fenomeni osservati, condotta sulla base degli aspetti legati alla tipologia di sorgente e di edificio ed alle posizioni dei recettori e relativi tempi di permanenza.

La grandezza cinematica di riferimento rappresentativa del disturbo è individuata nell'accelerazione assoluta, che necessita di una misura diretta per mezzo di sensori accelerometrici, con misura simultanea sui tre assi ortogonali di riferimento per la struttura dell'edificio o del corpo umano (per convenzione: asse Z verticale).

Le postazioni di misura vanno individuate sulla base delle reali condizioni di utilizzo degli ambienti da parte degli abitanti, escludendo quindi eventuali ambienti di servizio (ripostigli, servizi igienici, cantine, solai, corridoi, giardini, vie di accesso, balconi/terrazzi, scale, pianerottoli e ambienti non abitabili secondo le vigenti normative indipendentemente dal loro reale uso). Le misure per la valutazione del disturbo alla persona vanno eseguite, in generale, sui pavimenti o, in subordine, su elementi strutturali che possono essere a diretto contatto con il corpo umano durante la normale attività all'interno dell'ambiente o su superfici di appoggio per mobili utilizzati per il riposo, ma non su soffitti, controsoffitti, mensole, vetrate, suppellettili, mobili, letti e arredi in generale. Vanno anche evitate posizioni di misura su superfici a scarsa aderenza con le strutture (piastrelle non aderenti al massetto), morbide e/o cedevoli (tappeti, moquette, ecc.) o per le quali l'ampiezza delle vibrazioni può derivare anche da cattivo stato di manutenzione. Ovviamente i punti di misura devono essere individuati nei punti ove si rileva il più elevato dei valori efficaci di accelerazione ponderata aw(t), ma lontano da eventuali punti singolari. La seguente figura mostra alcune possibili individuazioni di punti di misura adeguati o non adeguati alle valutazioni oggetto della norma in esame.

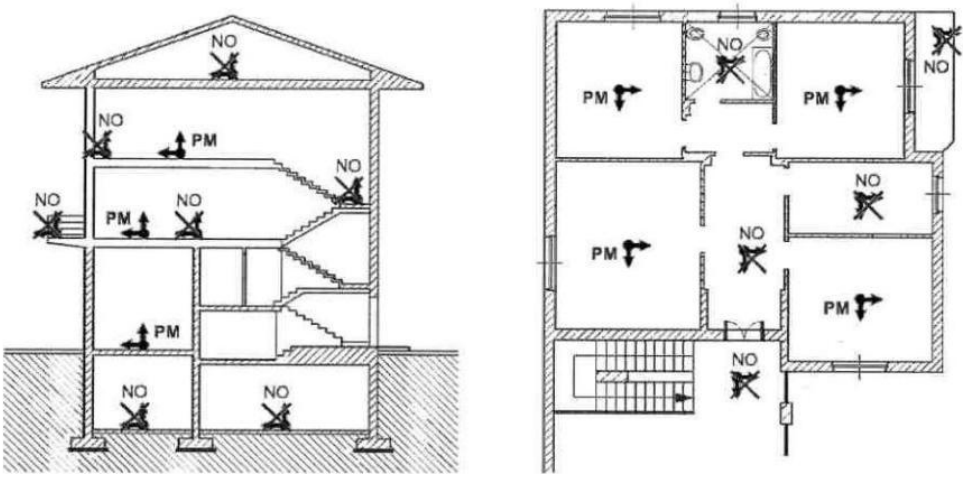


Figura 1.1 - Individuazione corretta e non corretta dei punti di misura

La durata complessiva delle misure dipende dal numero di eventi necessario ad assicurare una ragionevole accuratezza statistica delle misure, tenendo conto sia della variabilità della sorgente che della natura dell'ambiente di misura. Se l'esposizione è prodotta da fenomeni di diverso tipo presenti in diversi periodi, è necessario procedere con un'analisi separata per ciascun periodo. L'appendice A della norma fornisce criteri generali per l'individuazione degli eventi da prendere in considerazione nel caso di fenomeni connessi a traffico tramviario o stradale, attività di cantiere, sorgenti industriali, attività umane dirette e vibrazioni stazionarie ed ergodiche. Per le misure, resta comunque fondamentale la verifica dell'effettiva ed esaustiva rappresentatività della situazione in esame.

La norma fornisce comunque indicazioni generali sul numero minimo consigliato di eventi da prendere in considerazione per i singoli casi:

- per fenomeni caratterizzati da un elevato numero di eventi distinti: almeno 15 eventi
- per fenomeni generati da attività umane dirette con eventi distinguibili: almeno 25 eventi
- per fenomeni stazionari, ergodici o assimilabili che non danno luogo ad eventi distinti (attività industriali o attività umane dirette con eventi non facilmente distinguibili): almeno 25 eventi
- per fenomeni caratterizzati da un ridotto numero di eventi si possono eseguire misurazioni anche in giorni diversi per acquisire complessivamente i segnali relativi ad almeno 5 eventi
- gli eventi molto rari (indicativamente con occorrenza inferiore a un evento ogni due settimane) sono considerati "non disturbanti" ai fini della UNI 9614:2017, in virtù della loro scarsa incidenza temporale

Per la determinazione del presunto disturbo vibrazionale generato da una specifica sorgente devono essere misurate sia le vibrazioni immesse che quelle residue. Le vibrazioni residue vanno misurate nello stesso punto e con le stesse modalità e criteri utilizzati per le vibrazioni immesse, considerando ricomprese nella componente residua le vibrazioni eventualmente rilevate in ambiente lavorativo e connesse all'attività produttiva o agli impianti al suo servizio.

Nel caso di sorgenti continue classificabili come attività essenziali di pubblico servizio, non è ovviamente possibile la misura delle vibrazioni residue, rendendo accettabile la misura delle sole vibrazioni immesse, ma mantenendo la possibilità di eseguire rilievi di vibrazioni residue

in occasione di fermi per manutenzioni programmate o nel corso di fasi di ridotta attività, al fine di ottenere almeno una stima della componente vibrazionale residua. Per le attività non interrompibili, ma non essenziali, la misura delle vibrazioni residue è invece richiesta mediante una disattivazione programmata delle sorgenti, previa una valutazione preliminare cautelativa della significatività delle vibrazioni residue stesse e del loro peso rispetto alle vibrazioni immesse. Per sorgenti semi-continue, intermittenti o temporanee la misura delle vibrazioni residue è invece obbligatoria.

La strumentazione da utilizzare per la valutazione del disturbo da vibrazioni deve permettere, oltre che l'acquisizione e la registrazione del segnale accelerometrico, anche l'elaborazione in linea dei dati. È accettato anche l'uso di sistemi di acquisizione dati con memorizzazione digitale della storia temporale accelerometrica con successiva post elaborazione off-line mediante specifico software, dandone esplicita indicazione, rispondente comunque alle caratteristiche di analisi richieste dalla UNI EN ISO 8041-1.

Le caratteristiche metrologiche della catena di misura (curva di risposta in frequenza, dinamica del sistema di acquisizione, rumore di fondo, filtri "band limiting", ponderazione Wm, ecc.) devono essere conformi alla UNI EN ISO 8041-1.

In particolare, si devono rispettare i seguenti requisiti:

- sensibilità nominale non inferiore a 10mV/(m/s^2)
- risposta in frequenza della catena di misura, comprensiva dell'acquisizione, lineare con tolleranza ±5% da 0.5 Hz a 250 Hz
- acquisizione digitale con frequenza di campionamento non minore di 1500 Hz, presenza di filtro anti-aliasing con frequenza non minore di 600 Hz, risoluzione preferenziale di 24 bit e minima di 16 bit
- valore efficace del rumore strumentale, dovuto a fenomeni casuali e non dipendenti né dalle vibrazioni immesse né da quelle residue, almeno cinque volte inferiore al minimo valore efficace dei segnali da misurare.

Il montaggio degli accelerometri deve essere tale da garantire la trasmissione rigida del moto dal sistema vibrante all'accelerometro almeno della banda 0-500 Hz e deve essere eseguito facendo riferimento alla norma UNI ISO 5348 o secondo le indicazioni fornite dal produttore del sensore. Le modalità di installazione devono essere riportate nel rapporto di misura e devono essere scelte in relazione alle condizioni dei piani di posa, prevedendo eventualmente l'utilizzo, anche contemporaneo, di inserti/tasselli (meccanici o chimici) inseriti nel piano di posa, collaggi rigidi (mastici, resine, cera d'api), magneti, collegamenti bullonati o masse appoggiate isostaticamente sulle superfici alle quali è vincolato l'accelerometro (configurazione non concessa per superfici morbide o irregolari). Il corretto funzionamento della catena di misura deve essere verificato prima e dopo ogni misura mediante apposito calibratore a norma UNI EN ISO 8041-1; sono ammessi calibratori a frequenza fissa pari a 1000 rad/s ed ampiezza di 10m/s^2. Ogni tre anni l'intera catena di misura deve essere sottoposta a verifica di taratura.

La strumentazione di misura deve infine garantire l'acquisizione del segnale con riferimento alle specifiche di cui al punto 6 della norma UNI 11568:2015. Per l'elaborazione delle misure ed il calcolo dei parametri del disturbo, la norma UNI 9614:2017 suggerisce un metodo sequenziale valido per tutti i tipi di sorgente e adeguato a coprire sia fenomeni di media e breve durata, sia fenomeni impulsivi caratterizzati da un fattore di cresta molto elevato.

L'elaborazione del segnale corrispondente ad ogni singolo evento monitorato comporta i seguenti passaggi:

1. filtraggio con filtro passa banda e con filtro di ponderazione: l'accelerazione rilevata sui tre assi ax(t), ay(t) e az(t) viene preliminarmente filtrata con un filtro passa banda ("band limiting"), con specifiche funzioni di trasferimento (§ punto 8.1.1 della norma), al fine di selezionare le frequenze significative per la risposta del corpo umano al disturbo. Successivamente si applica un filtro di ponderazione in frequenza che utilizza la curva W_m definita dalla ISO 2631-2, anch'esso con una specifica funzione di trasferimento (§ punto 8.1.2 della norma). Al termine del procedimento di filtraggio si ottiene per il j-esimo asse, l'accelerazione ponderata $a_{wj}(t)$

2. calcolo del valore efficace dell'accelerazione assiale ponderata: per l'intera storia temporale del segnale ponderato, viene calcolato, secondo quanto indicato dalla norma UNI EN ISO 8041-1:2017 al punto D.1, l'andamento nel tempo del valore efficace dell'accelerazione ponderata, in riferimento a ciascun asse cartesiano, e per un intervallo di integrazione T = 1 s, secondo la seguente formulazione:

$$a_{w,rms,j}(t) = \left(\frac{1}{\tau}\, x \int_{t-\tau}^{t} a_{w,j}^2(\,t\,)\, x\; dt\right)$$

3. calcolo dell'accelerazione ponderata totale efficace: viene eseguito per combinazione (secondo UNI ISO 2631-1:1997, punto 6.5, con $k_x=k_y=k_z=1$), istante per istante, a partire dalle tre accelerazioni assiali ponderate calcolate in precedenza secondo la seguente relazione:

$$a_w(t) = \sqrt{a_{w,rms,x}^2(t) + a_{w,rms,y}^2(t) + a_{w,rms,z}^2(t)}$$

Dall'accelerazione ponderata efficace $a_w(t)$, si possono poi ottenere le seguenti grandezze:

a) massima accelerazione ponderata, definita come il massimo livello di accelerazione ponderata efficace all'interno del singolo evento j-esimo, ovvero:

$$a_{w,max,j} = \max\,(a_w(t))$$

b) massima accelerazione statistica aw,95 data dalla seguente relazione:

$$a_{w,95} = \overline{a_{w,max}} + 1{,}8\, x\, \sigma$$

Dove:

$a_{w,max}$ è il valore medio della massima accelerazione ponderata calcolato come media aritmetica delle massime accelerazioni ponderate $a_{w,max,j}$ con j che rappresenta gli eventi considerati, ovvero:

$$\overline{a_{w,max}} = \frac{\sum_{j=1}^{N} a_{w,max,j}}{N}$$

s è lo scarto tipo della distribuzione delle massime accelerazioni ponderate $a_{w,max,j}$ calcolate mediante la seguente relazione:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{N}\left(a_{w,max,j} - \overline{a_{w,max}}\right)^2}{N-1}}$$

Nel caso in cui non sia possibile misurare più di 5 eventi, non si ritiene attendibile $a_{w,95}$ così ottenuto, ed esso deve quindi essere stimato mediante la più elevata delle massime accelerazioni ponderate $a_{w,max,j}$ relative agli N eventi misurati.

Inoltre, è possibile determinare anche le vibrazioni associate ad una specifica sorgente ritenuta fonte di disturbo mediante l'accelerazione ponderata massima statistica della sorgente, V_{sor}, da calcolare a partire dall'accelerazione ponderata massima statistica delle vibrazioni immesse, V_{imm}, e dall'accelerazione ponderata massima statistica delle vibrazioni residue, V_{res}, secondo la seguente relazione:

$$V_{sor} = \sqrt{V_{imm}^2 + V_{res}^2}$$

Per la determinazione del vero valore del parametro $a_{w,95}$ si utilizza un procedimento di misure ripetute di vibrazioni su edifici, misure, per loro stessa natura, soggette, in generale, ad indeterminazione statistica derivante da incertezza strumentale, da quella relativa alla scelta delle postazioni di misura e da quella legata alla natura ed alle caratteristiche di variabilità del fenomeno in esame; dunque, anche $a_{w,95}$ sarà un parametro soggetto ad indeterminazione.

L'incertezza strumentale e quella legata alla scelta delle posizioni di misura sono ben caratterizzate nella UNI 9614:2017 e, per questo, sono in generale meno importanti dell'indeterminazione connessa alle specifiche caratteristiche del fenomeno vibratorio in esame. Di conseguenza le incertezze globali delle determinazioni sono influenzate principalmente dall'incertezza sulle caratteristiche del fenomeno e quindi dalla natura della sorgente, dalle modalità di generazione e di rilascio di energia vibrazionale e dalla proprietà fisicomeccaniche del mezzo entro il quale si propaga il fenomeno vibratorio, proprietà eventualmente anche variabili nel tempo.

In generale è quindi pressoché impossibile fornire indicazioni quantitative sull'incertezza del fenomeno vibratorio ed è quindi necessario valutare la dispersione dei dati mediante induzione motivata o esecuzione di misure in periodi diversi.

Ovviamente una significativa riduzione dell'indeterminazione può essere ottenuta con l'incremento del numero di eventi analizzati anche oltre le indicazioni fornite, in generale, dalla UNI 9614:2017 (punto 6.3).

Una volta determinato il parametro descrittore della vibrazione di una sorgente, V_{sor}, è possibile confrontare i suoi valori con specifici limiti di disturbo caratteristici di diversi tipi di ambienti e di diversi periodi della giornata. Ad esempio, per ambienti ad uso abitativo, i limiti di riferimento massimi per la massima accelerazione ponderata della sorgente, V_{sor}, sono:

- periodo diurno: 7.2 mm/s^2
- periodo notturno: 3.6 mm/s^2
- periodo diurno di giornate festive: 5.4 mm/s^2

Il seguente schema riepiloga i limiti di riferimento individuati dalla norma UNI 9614:2017 per particolari ambienti diversi da quello residenziale/abitativo.

- ambienti di lavoro (1) V_{sor} = 14 mm/s^2
- ospedali, case di cura ed affini (2) V_{sor} = 2 mm/s^2
- asili e case di riposo (3) V_{sor} = 3,6 mm/s^2

- scuole (4) V_{sor} = 5,4 mm/s^2

Nel caso in cui le vibrazioni residue, V_{res}, avessero un valore maggiore del 50% di quelle immesse, V_{imm}, il disturbo prodotto dalle vibrazioni della sorgente, V_{sor}, può essere ritenuto trascurabile.

Destinazione d'uso	Accelerazione Vettore V_{sorg} (m/s^2)
Abitazioni (periodo notturno dalle 22:00 alle 6:00)	$3,6 \times 10^{-3}$
Abitazioni (periodo diurno dalle 6:00 alle 22:00)	$7,2 \times 10^{-3}$
Abitazioni (periodo diurno festivo dalle 6:00 alle 22:00)	$5,4 \times 10^{-3}$
Luoghi di lavoro	14×10^{-3}
Ospedali, case di cura e affini (indipendentemente dal periodo)	2×10^{-3}
Asili e case di riposo (valido anche nel periodo diurno in caso sia previsto il riposo delle persone)	$3,6 \times 10^{-3}$
Scuole (nel periodo di utilizzo degli allievi e limitatamente alle aule usate)	$5,4 \times 10^{-3}$

Tab. 1.1 - Valori limite delle accelerazioni complessive ponderate in frequenza per la UNI 9614:2017

1.1.3 UNI 9916 "Criteri di misura e valutazione degli effetti delle vibrazioni sugli edifici"

I danni agli edifici determinati dalle vibrazioni vengono trattati dalla UNI 9916 "Criteri di misura e valutazione degli effetti delle vibrazioni sugli edifici", norma in sostanziale accordo con i contenuti tecnici della ISO 4866 e in cui viene richiamata, sebbene non faccia parte integrante della norma, la DIN 4150, parte 3.

La norma UNI 9916 fornisce una guida per la scelta di appropriati metodi di misura, di trattamento dei dati e di valutazione dei fenomeni vibratori allo scopo di permettere anche la valutazione degli effetti delle vibrazioni sugli edifici, con riferimento alla loro risposta strutturale ed integrità architettonica. Altro scopo della norma è di ottenere dati comparabili sulle caratteristiche delle vibrazioni rilevate in tempi diversi su uno stesso edificio, o su edifici diversi a parità di sorgente di eccitazione, nonché di fornire criteri di valutazione degli effetti delle vibrazioni medesime.

La norma considera per semplicità gamme di frequenza variabili da 0.1 a 150 Hz. Tale intervallo interessa una grande casistica di edifici e di elementi strutturali di edifici sottoposti ad eccitazione naturale (vento, terremoti, ecc.) nonché ad eccitazioni causate dall'uomo (traffico, attività di costruzione, ecc.). In alcuni casi l'intervallo di frequenza delle vibrazioni può essere più ampio; tuttavia, le eccitazioni con contenuto in frequenza superiore a 150 Hz non sono tali da influenzare significativamente la risposta dell'edificio. L'Appendice A della UNI 9916 contiene una guida semplificata per la classificazione degli edifici secondo la loro probabile reazione alle vibrazioni meccaniche trasmesse attraverso il terreno. Nell'ambito di questa classificazione, un sistema dinamico è costituito dal terreno e dallo strato di base (magrone) sul quale si trovano le fondazioni oltre che la struttura medesima dell'edificio.

Le strutture comprese nella classificazione riguardano:

- tutti gli edifici residenziali e gli edifici utilizzati per le attività professionali (case, uffici, ospedali, case di cura, ecc.)
- gli edifici pubblici (municipi, chiese, ecc.)
- edifici vecchi ed antichi con un valore architettonico, archeologico e storico

- le strutture industriali più leggere spesso concepite secondo le modalità costruttive in uso per gli edifici abitativi.

La classificazione degli edifici (Prospetto III) è basata sulla loro resistenza strutturale alle vibrazioni oltre che sulla tolleranza degli effetti vibratori sugli edifici in ragione del loro valore architettonico, archeologico e storico. I fattori dai quali dipende la reazione di una struttura agli effetti delle vibrazioni sono:

- la categoria della struttura
- le fondazioni
- la natura del terreno.

La categoria di struttura (Prospetto II) è classificata in una scala da 1 a 8 (a numero crescente di categoria corrisponde una minore resistenza alle vibrazioni) in base ad una ripartizione in due gruppi di edifici, edifici vecchi e antichi o strutture costruite con criteri tradizionali (Gruppo 1) e edifici e strutture moderne (Gruppo 2). L'associazione della categoria viene fatta risalire alle caratteristiche tipologiche e costruttive della costruzione e al numero di piani.

Le fondazioni sono classificate in tre classi. La Classe A comprende fondazioni su pali legati in calcestruzzo armato e acciaio, platee rigide in calcestruzzo armato, pali di legno legati tra loro e muri di sostegno a gravità; la Classe B comprende pali non legati in calcestruzzo armato, fondazioni continue, pali e platee in legno; la Classe C infine comprende i muri di sostegno leggeri, le fondazioni massicce in pietra e la condizione di assenza di fondazioni, con muri appoggiati direttamente sul terreno.

Il terreno viene classificato in sei classi: rocce non fessurate o rocce molto solide, leggermente fessurate o sabbie cementate (Tipo a); terreni compattati a stratificazione orizzontale (Tipo b); terreni poco compattati a stratificazione orizzontale (Tipo c); piani inclinati, con superficie di scorrimento potenziale (Tipo d); terreni granulari, sabbie, ghiaie (senza coesione) e argille coesive sature (Tipo e) e materiale di riporto (Tipo f).

L'Appendice B della UNI 9916 contiene i criteri di accettabilità dei livelli delle vibrazioni con riferimento alla DIN 4150 e al Decreto del Ministero dei Lavori Pubblici del 24 gennaio 1986 "Norme tecniche relative alle costruzioni in zona sismica." La parte 3 della DIN 4150 indica le velocità massime ammissibili per vibrazioni transitorie:

- sull'edificio (nel suo complesso)
- sui pavimenti: $v < 20$ mm/s in direzione verticale nel punto di massima vibrazione e le velocità massime ammissibili per vibrazioni stazionarie
- sull'edificio (nel suo complesso): $v < 5$ mm/s in direzione orizzontale sull'ultimo piano
- sui pavimenti: $v < 10$ mm/s in direzione verticale nel punto di massima vibrazione.

Per velocità massima è da intendersi la velocità massima di picco. Essa è ricavabile dalla velocità massima r.m.s. attraverso la moltiplicazione di quest'ultima con il fattore di cresta F. Tale parametro esprime il rapporto tra il valore di picco e il valore efficace. Per onde sinusoidali si assume $F = 1.41$; in altri casi si possono assumere valori maggiori. Nei casi più critici (ed es. esplosioni di mina) F può raggiungere il valore 6. La ISO 4866 fornisce infine una classificazione degli effetti di danno a carico delle strutture secondo tre livelli:

- Danno di soglia: formazione di fessure filiformi sulle superfici dei muri a secco o accrescimento di fessure già esistenti sulle superfici in gesso o sulle superfici di muri a

secco; inoltre, formazioni di fessure filiformi nei giunti di malta delle costruzioni in muratura di mattoni. Possono verificarsi per vibrazioni di piccola durata, con frequenze maggiori di 4 Hz e velocità di vibrazione di 4÷50 mm/s, e per vibrazioni continue, con velocità 2÷5 mm/s.

- Danno minore: formazione di fessure più aperte, distacco e caduta di gesso o di pezzi di intonaco dai muri; formazione di fessure in murature di mattoni. Possono verificarsi per vibrazioni di piccola durata con frequenze superiori a 4 Hz nel campo di velocità vibrazionale compreso tra 20÷100 mm/s oppure per vibrazioni continue associate a velocità di 3÷10 mm/s.
- Danno maggiore: danneggiamento di elementi strutturali; fessure nei pilastri; aperture di giunti; serie di fessure nei blocchi di muratura. Possono verificarsi per vibrazioni di piccola durata con frequenze superiori a 4 Hz e velocità vibrazionale compresa tra 20÷200 mm/s oppure per vibrazioni continue associate a velocità di 5÷20 mm/s.

In considerazione dei valori nettamente inferiori dei limiti previsti della norma UNI 9614:2017 rispetto a quelli della norma UNI 9916:2014, si considera nella presente valutazione, che il rispetto dei limiti della norma UNI 9614:2017 implichi il conseguente rispetto anche dei limiti della norma UNI 9916:2014.

1.2 Linee Guida MASE D.D. VA n. 257 del 02/08/2024

Con **Decreto n. 257 del 02/08/2024** della Direzione Generale Valutazioni Ambientali, sono state adottare le Linee guida redatte dalla Commissione Tecnica di Verifica dell'Impatto Ambientale VIA e VAS, tese a indirizzare in modo specifico le istanze relative alla particolare tipologia di opere consistenti nei Data Center assistiti da gruppi elettrogeni di emergenza con potenza superiore complessivamente a 50 MWt.

L'obiettivo posto è stato di definire i principali aspetti in ordine a progetti di Data Center soggetti a valutazione ambientale, descrivendo le metodologie applicabili e chiarendo le modalità di adempimento degli obblighi previsti dalla normativa di settore.

2. Inquadramento dell'area

2.1 Inquadramento territoriale

Il sito di analisi si localizza nel comune di Zibido San Giacomo, a sud della città di Milano, in un comparto prevalentemente industriale e produttivo. Il contesto più ampio dove si colloca il sito è caratterizzato da un paesaggio prevalentemente agricolo, caratterizzato dalla presenza estesa del Parco Agricolo Sud di Milano.

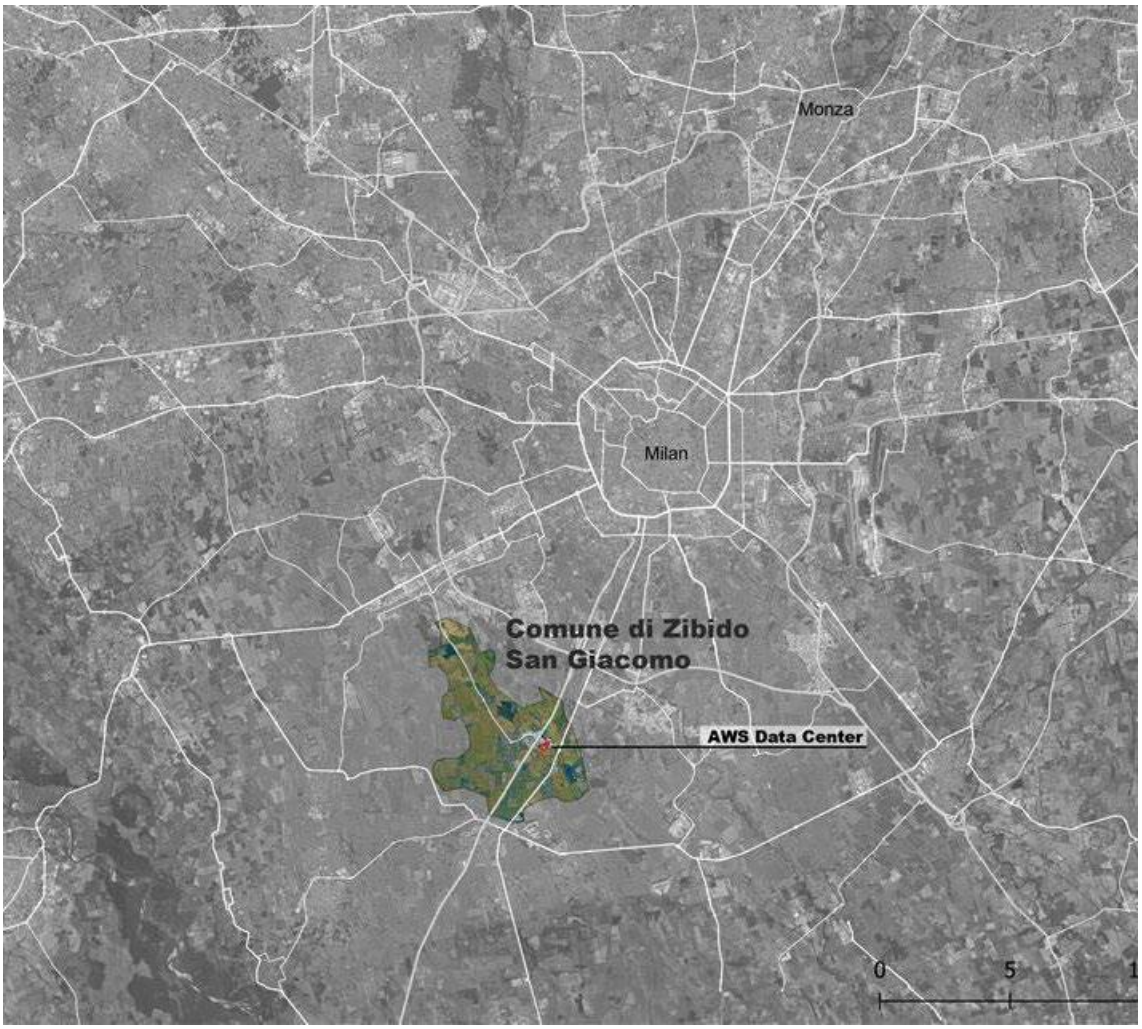


Figura 2.1 Localizzazione del sito in relazione a Milano – nord Italia

Figura 2.2 Inquadramento area scala comunale – Zibido San Giacomo

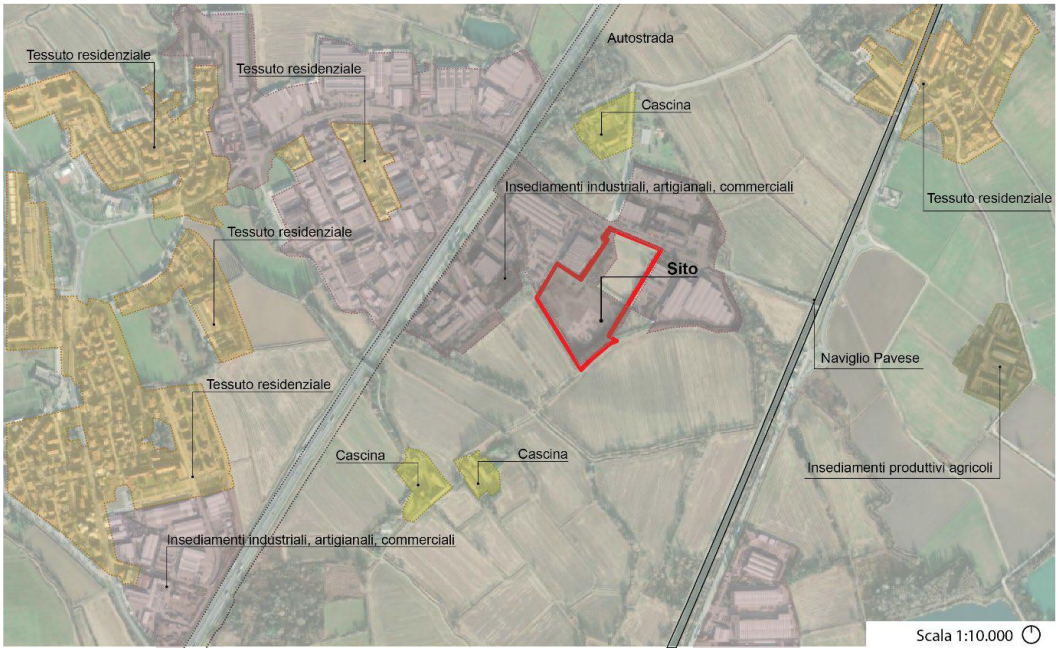


Figura 2.3 Inquadramento dell'area rispetto al contesto locale nel comune di Zibido San Giacomo

L'area di progetto si inserisce nell'Ambito di Trasformazione AT12 del comune di Zibido San Giacomo che si trova nella zona sud-orientale della località Rinascita, accessibile da Viale Longarone - Via G. Verdi, con una buona connessione al centro urbano e all'esterno. L'area comprende porzioni libere e aree urbanizzate, precedentemente utilizzate (dal 2017) per trivellazioni a fini di estrazione di gas metano, successivamente abbandonate per l'insufficiente qualità e quantità del gas. Attualmente, l'area è sgombra dagli impianti, impermeabilizzata, in stato di abbandono.

L'ambito di Trasformazione è stato oggetto di pianificazione attuativa; con deliberazione della giunta comunale n.139 del 19/10/2023 è stato infatti adottato il Piano Attuativo di iniziativa privata denominato Ambito di Trasformazione AT12 – Viale Longarone.

Con riferimento ai potenziali effetti delle vibrazioni sull'edificato, si evidenzia che l'intorno del sito di progetto è caratterizzato prevalentemente da un tessuto urbano a destinazione produttiva/industriale, come illustrato nella figura seguente. Le aree prossime al perimetro del data center risultano infatti occupate da attività produttive, infrastrutture e spazi funzionali alla logistica e all'esercizio industriale, mentre verso sud/sud-est il contesto territoriale si apre verso le aree agricole del Parco Agricolo Sud Milano.

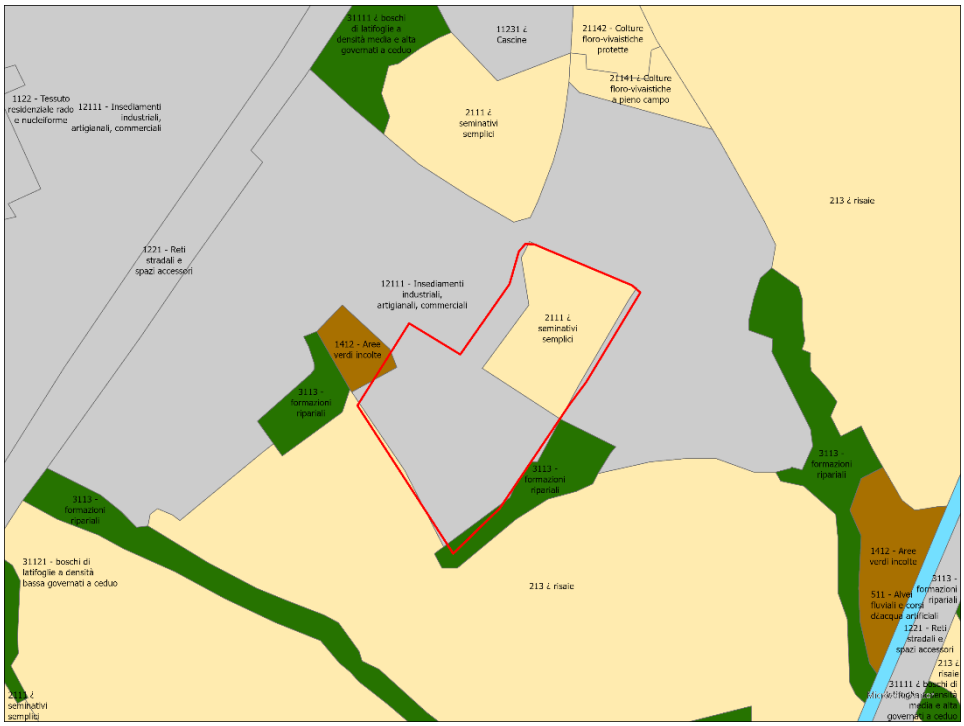


Figura 2.4 Carta dell'uso del suolo (DUSAF 7.0 2021)

2.2 Individuazione dei recettori

Con riferimento agli effetti di un possibile disturbo sull'uomo, sono stati considerati i medesimi recettori valutati per l'analisi di impatto acustico (denominati R1, R2 e R3). Tali recettori sono costituiti da due cascine e un edificio a destinazione mista, con piccoli esercizi commerciali localizzati al piano terra e unità residenziali al primo piano, tutti considerati come edifici residenziali.

Il recettore R1 è ubicato a circa 190 metri dall'area di intervento, il recettore R2 a circa 360 metri e il recettore R3 a circa 550 metri; di seguito è riportata la localizzazione geografica dei recettori nell'area:

Sigla	Tipologia	Est (m) UTM32	Nord (m) UTM32	Distanza dal sito (m)	Note
R1	Abitazione	510036	5023590	190	Residenziale
R2	Cascina	509908	5023800	360	Residenziale
R3	Cascina	509612	5023010	550	Residenziale

Tabella 2.1 – Coordinate geografiche dei ricettori

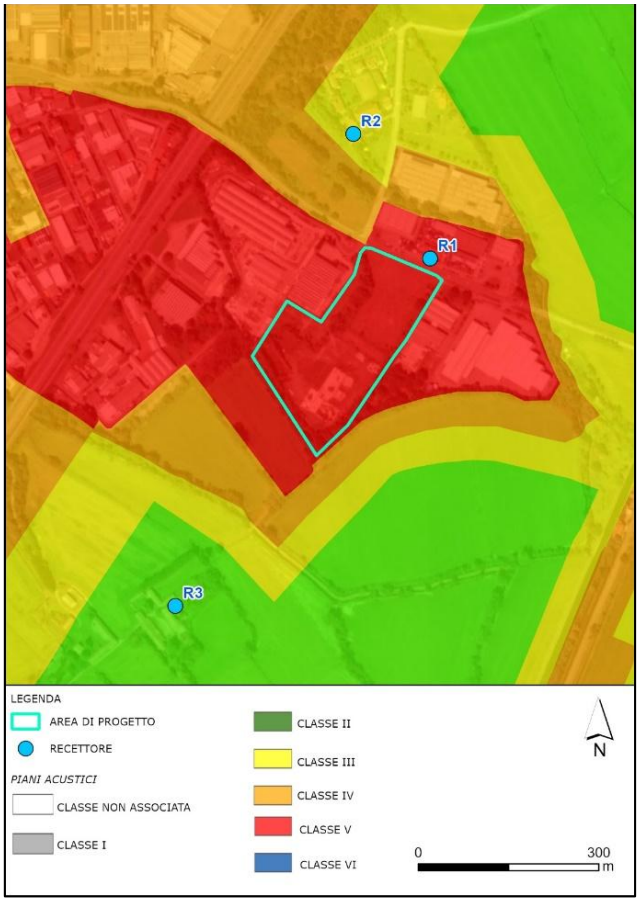


Figura 2.5 Recettori valutati per l'analisi di impatto acustico

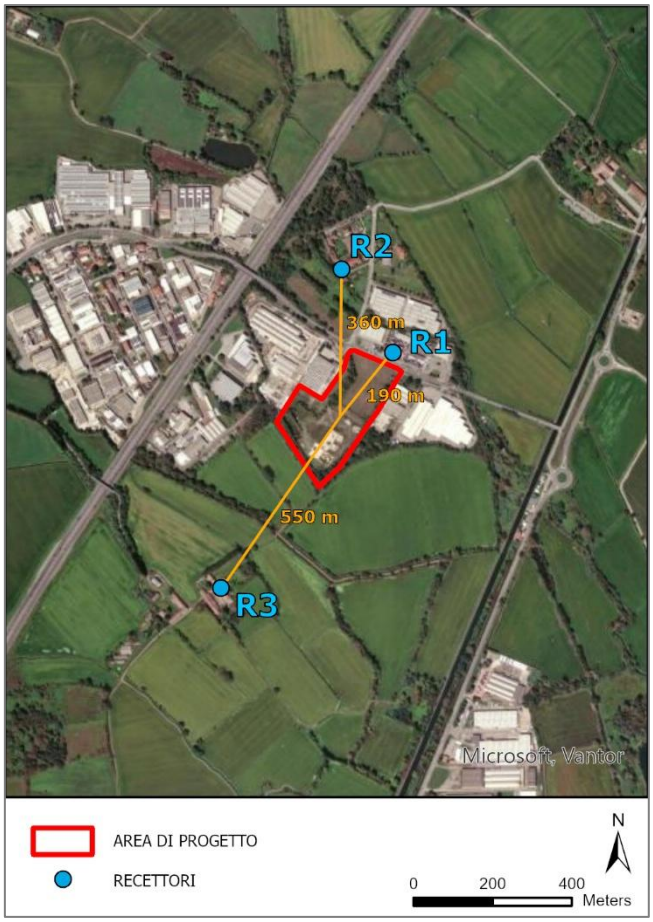


Figura 2.6 Ubicazione dei recettori sulla Mappa satellitare e distanza dal sito di progetto

3. Valutazione dell'impatto vibrazionale

3.1 Valutazione del clima vibrazionale attuale

L'area di progetto è ubicata nel Comune di Zibido San Giacomo, in località Rinascita, in un ambito con prevalente carattere produttivo e industriale, inserito tuttavia in un contesto territoriale più ampio caratterizzato anche da aree agricole e dalla prossimità del Parco Agricolo Sud Milano. Lo stato attuale dell'area di intervento è descritto nel documento di SIA come area già interessata in passato da attività di perforazione per ricerca di gas metano, successivamente dismessa e attualmente sgombra dagli impianti, parzialmente impermeabilizzata e in stato di abbandono. In tale quadro, non risultano presenti, allo stato attuale, impianti tecnologici operativi o macchinari permanenti in grado di determinare un clima vibrazionale significativo e continuativo direttamente correlato al futuro data center.

Per i recettori di rifermento R1, R2 ed R3, il clima vibrazionale attuale può pertanto essere considerato ordinario e non caratterizzato da sorgenti vibrazionali industriali persistenti specifiche del sito di progetto. Le sorgenti potenzialmente presenti nell'intorno risultano principalmente riconducibili al traffico locale e alle ordinarie attività antropiche dell'area. Non si evidenzia la presenza di infrastrutture ferroviarie, lavorazioni industriali particolarmente energiche o altre sorgenti note per generare contributi vibrazionali rilevanti e continuativi sui recettori residenziali considerati.

In assenza di evidenze di un clima vibrazionale preesistente significativo, il livello di fondo può essere ritenuto contenuto e, in via qualitativa, compatibile con i valori di riferimento indicati dalla norma UNI 9614:2017 per il disturbo alle persone negli edifici, risultando coerente con la destinazione d'uso residenziale dei recettori.

3.2 Metodologia di valutazione impatti vibrazionali

La valutazione dell'impatto vibrazionale del data center di Zibido San Giacomo ha adottato un approccio previsionale basato sulla stima dell'attenuazione geometrica delle vibrazioni nel terreno a partire dalle sorgenti installate o previste in fase di cantiere e di esercizio.

La metodologia comprende l'identificazione delle sorgenti potenzialmente vibrogeniche, l'acquisizione dei dati tecnici dichiarati dai costruttori delle apparecchiature, ove disponibili, e l'applicazione di un modello teorico semplificato di propagazione delle onde nel terreno. In assenza di misurazioni dirette in sito, tale approccio consente di stimare in modo cautelativo il livello vibrazionale atteso presso i recettori più prossimi e di confrontarlo con i valori di riferimento della UNI 9614:2017 per il disturbo alle persone negli edifici.

Il confronto con i valori di riferimento è stato effettuato in accordo con la norma UNI 9614:2017, che definisce i metodi di misura delle vibrazioni immesse negli edifici e i criteri di valutazione del disturbo alle persone. In particolare:

- per la fase di cantiere, i livelli stimati sono stati confrontati con i valori di riferimento per il periodo diurno, pari a circa 7,2 mm/s², coerentemente con le modalità operative delle attività;
- per la fase di esercizio, il confronto è stato esteso anche al periodo notturno, considerando il limite più restrittivo pari a circa 3,6 mm/s², in quanto il funzionamento di alcuni impianti del Data Center è previsto nell'intero arco della giornata.

Modello di propagazione adottato

L'impatto vibrazionale in fase di cantiere e in fase di esercizio è stato stimato mediante il modello di attenuazione geometrica nel terreno, applicato alle sorgenti potenzialmente più gravose previste dalle lavorazioni.

Il dato emissivo di partenza è stato assunto da valori di letteratura. Il livello vibrazionale alla distanza del recettore è stato stimato mediante la relazione:

$$a_r = a_0 \cdot \left(\frac{r_0}{r}\right)^{\alpha}$$

Dove:

- a_r: accelerazione stimata al recettore [mm/s^2];
- a_0: accelerazione dichiarata dal costruttore o assunta da letteratura alla distanza di riferimento [mm/s^2];
- r_0: distanza di riferimento, generalmente pari a 1 m o alla distanza indicata dalla scheda tecnica;
- r: distanza tra sorgente e recettore [m];
- α: coefficiente di attenuazione geometrica.

Tale relazione è stata integrata dal termine esponenziale descrivente il fenomeno di smorzamento materiale del terreno, come segue:

$$a_{fin} = a_r \cdot e^{-\gamma(r-r_0)}$$

Dove:

a_{fin}: accelerazione stimata [mm/s^2];

γ: coefficiente di smorzamento del terreno [1/m];

Per descrivere lo smorzamento vibrazionale in un terreno composto da ghiaia e sabbia con falda ad una profondità di 2 metri, il coefficiente γ è stato assunto pari a 0,003.

Il coefficiente α è stato assunto pari a 1 per la propagazione di onde sferiche da sorgenti puntuali.

3.3 Valutazione dei potenziali impatti vibrazionali in fase di cantiere

La componente vibrazioni è stata valutata mediante una metodologia previsionale speditiva basata sulla propagazione teorica delle onde vibrazionali nel terreno, a partire dai livelli emissivi dichiarati dal costruttore delle sorgenti o, in assenza di dati specifici, da valori cautelativi desunti da letteratura tecnica e studi analoghi.

L'approccio considera le principali sorgenti vibrazionali potenzialmente rilevanti nelle diverse fasi di progetto e stima il livello vibrazionale atteso presso i recettori mediante attenuazione geometrica del suolo. I risultati sono quindi confrontati con i valori di riferimento della UNI 9614:2017, relativa alla misura delle vibrazioni negli edifici e ai criteri di valutazione del disturbo alle persone.

Dal punto di vista normativo, le attività di cantiere sono state considerate come sorgenti di vibrazione di tipo intermittente, caratterizzate da eventi di breve durata separati da intervalli temporali nei quali i livelli vibrazionali risultano significativamente inferiori.

Si rammenta come l'impatto vibrazionale nelle simulazioni numeriche sarà valutato secondo al UNI 9614:2017 con il confronto con i valori di riferimento per il disturbo alle persone.

La stima delle vibrazioni indotte dalla fase di cantiere presso i recettori individuati è stata condotta suddividendola nelle 2 fasi sequenziali riportate di seguito:

- Fase di costruzione del data center
- Fase di costruzione del cavidotto.

Tra queste, la fase di costruzione del data center è stata individuata come la più impattante, in quanto caratterizzata dalla presenza contemporanea del maggior numero di macchinari.

La fase di realizzazione del cavidotto, pur interessando un'estensione territoriale più ampia, presenta invece caratteristiche operative differenti: le lavorazioni risultano infatti di tipo lineare, in continuo avanzamento e di durata temporale limitata in ciascun punto. In tale contesto, il recettore più prossimo alle attività lungo il tracciato risulta essere R3; tuttavia, l'interferenza vibrazionale associata risulta localizzata e temporanea. La realizzazione del cavidotto è infatti assimilabile, per modalità operative, a un intervento di tipo stradale, che determina effetti limitati nel tempo, mitigati dalla breve durata delle lavorazioni in corrispondenza di ciascun tratto.

In tale contesto, l'escavatore rappresenta la tipologia di macchinario più impattante di cui è previsto l'utilizzo in cantiere, per il quale si può stimare un livello di accelerazione ponderata $L_{aw,5m}$ = 90 dB [rif. A. Farina "Valutazione dei livelli di vibrazioni in edifici residenziali, Normativa, tecniche di misura e di calcolo", neo- Eubios n. 16 (2006)]. Tale valore include i contributi di accelerazione ponderata nei tre assi di propagazione (x, y e z) ed è stato assunto rappresentativo anche per le altre principali macchine operanti in cantiere, quali muletti/pale gommate, autocarri e autogrù, adottando un approccio cautelativo.

Sulla base di tali ipotesi, sono stati quindi stimati i livelli di accelerazione alla sorgente e presso i recettori R1, R2 ed R3, per la fase di costruzione del data center, considerando la combinazione delle sorgenti operative e individuando le condizioni più gravose (worst-case), tenendo in considerazione il fenomeno di smorzamento materiale del terreno, come riportato nelle tabelle seguenti:

Macchinari in uso durante la fase di costruzione del data center	Quantità	a0(5m) (dB)	a0(5m) (mm/s2)	ar (cad) (mm/s2)	ar (tot) (mm/s2)	ar Worst case (mm/s2)	**afin worst case (mm/s2)**
Muletto/Pala gommata	5	90	31.6	0.83	1.86		
Autocarro	5	90	31.6	0.83	1.86		
Autogru	3	90	31.6	0.83	1.44		
Escavatore	3	90	31.6	0.83	1.44	3.33	**1.2**

Tabella 3.1 – Stima dei livelli di accelerazione vibrazionale in fase di cantiere – R1

Macchinari in uso durante la fase di costruzione del data center	Quantità	a0(5m) (dB)	a0(5m) (mm/s2)	ar (cad) (mm/s2)	ar (tot) (mm/s2)	ar Worst case (mm/s2)	**afin worst case (mm/s2)**
Muletto/Pala gommata	5	90	31.6	0.44	0.98		
Autocarro	5	90	31.6	0.44	0.98		
Autogru	3	90	31.6	0.44	0.76		
Escavatore	**3**	**90**	**31.6**	**0.44**	**0.76**	**1.76**	**0.6**

Tabella 3.2 – Stima dei livelli di accelerazione vibrazionale in fase di cantiere – R2

Macchinari in uso durante la fase di costruzione del data center	Quantità	a0(5m) (dB)	a0(5m) (mm/s2)	ar (cad) (mm/s2)	ar (tot) (mm/s2)	ar Worst case (mm/s2)	**afin worst case (mm/s2)**
Muletto/Pala gommata	5	90	31.6	0.29	0.64		
Autocarro	5	90	31.6	0.29	0.64		
Autogru	3	90	31.6	0.29	0.50		
Escavatore	**3**	**90**	**31.6**	**0.29**	**0.50**	**1.15**	**0.2**

Tabella 3.3 – Stima dei livelli di accelerazione vibrazionale in fase di cantiere – R3

Dall'analisi dei risultati ottenuti si evidenzia come, anche nelle condizioni più gravose considerate (*worst-case*), caratterizzate dal funzionamento contemporaneo di tutte le principali macchine di cantiere, i livelli di accelerazione vibrazionale stimati presso i recettori risultino complessivamente contenuti.

In particolare, i valori calcolati, pur derivando da un approccio cautelativo basato sull'assunzione di livelli emissivi elevati e sulla sovrapposizione simultanea di tutte le sorgenti, risultano compatibili con i criteri giornalieri di riferimento previsti dalla norma UNI 9614:2017 per la valutazione del disturbo alle persone negli edifici, i quali individuano un valore limite pari a 7,2 mm/s².

Si evidenzia inoltre come le attività di cantiere in fase ordinaria siano caratterizzate da un funzionamento di tipo intermittente e non simultaneo nella realtà operativa, condizione che comporta, nella maggior parte dei casi, livelli vibrazionali effettivi inferiori rispetto allo scenario teorico adottato.

Alla luce delle considerazioni esposte, si può pertanto ritenere che le vibrazioni indotte durante la fase di cantiere non siano tali da determinare effetti significativi in termini di disturbo ai recettori sensibili o criticità rilevanti dal punto di vista vibrazionale.

3.4 Valutazione dei potenziali impatti vibrazionali in fase di esercizio

L'attività del sito è riconducibile a un funzionamento a ciclo continuo; pertanto, l'operatività del data center è assunta sia in periodo diurno sia in periodo notturno.

Dal punto di vista delle vibrazioni indotte dal funzionamento dell'impianto in progetto può essere suddiviso in tre macro ambiti:

- parco generatori di energia elettrica di emergenza;
- impianto di raffreddamento;
- viabilità pertinente ai data center.

In fase di esercizio, la valutazione dell'impatto vibrazionale è stata condotta considerando le sorgenti impiantistiche permanenti del data center e i gruppi elettrogeni di emergenza durante le attività programmate di test e manutenzione. Le sorgenti ordinarie comprendono l'impianto di raffreddamento, mentre i gruppi elettrogeni rappresentano la sorgente potenzialmente più rilevante durante le prove funzionali.

Generatori

Presso il sito si prevede l'installazione di n. 19 generatori di emergenza, di cui

- N.16 generatori da 2,8 MWe ciascuno a servizio delle sale dati;
- N. 3 generatori da 0,8 MWe (generatore "House") a servizio della sezione uffici e dell'area pozzi.

I gruppi elettrogeni previsti nell'impianto sono installati all'esterno in appositi involucri insonorizzati, progettati per garantire adeguata ventilazione, protezione dagli agenti atmosferici e contenimento delle emissioni sonore durante il funzionamento. Le unità sono alimentate a biodiesel, con predisposizione all'utilizzo di gasolio in caso di necessità, e risultano dedicate esclusivamente alla produzione di energia elettrica in condizioni di emergenza o durante le fasi periodiche di test e manutenzione.

Per quanto concerne il piano di manutenzione e di testing dei gruppi elettrogeni, esso si manterrà al di sotto delle 500 ore annue.

Il programma di manutenzione prevede diverse tipologie di test, da effettuarsi su ciascun generatore nel corso dell'anno. I test avranno cadenza bisettimanale per quanto riguarda il Biweekly Run, mentre è prevista una cadenza annuale per tutti gli altri. Inoltre, si specifica che non tutti i test saranno realizzati tutti gli anni, in quanto alcuni sono programmati solo ogni 3 anni (Annual Load Bank) o ogni 6 anni (Medium Voltage Maintenance, F1 Pit Stop).

Si precisa che i test avverranno accendendo i generatori in sequenza, e che non vi sarà mai accensione contemporanea di più gruppi elettrogeni.

L'accensione programmata per ciascun generatore sarà per un tempo massimo di 60 minuti (i test con cadenza bisettimanale avranno durata della prova a vuoto di soli 6 minuti e saranno limitati a 3 generatori all'ora), un test per anno di 60 minuti per ciascun generatore; fa eccezione solo il Medium Voltage Maintenance per il quale è prevista una durata di 4 ore, ma con svolgimento programmato ogni 3-6 anni.

I gruppi elettrogeni installati in appositi involucri insonorizzati possono essere assimilati, dal punto di vista della trasmissione delle vibrazioni al suolo, a sorgenti caratterizzate da motori diesel accoppiati a sistemi rotanti e dotati di elementi elastici di isolamento. In particolare, il comportamento dinamico del sistema generatore–supporto antivibrante risulta confrontabile, con quello di veicoli pesanti quali autocarri, nei quali la trasmissione delle vibrazioni al terreno avviene tramite pneumatici, che introducono una significativa capacità di isolamento elastico e smorzamento.

Sulla base di tale analogia, e al fine di adottare un approccio cautelativo nella valutazione, si è assunto che un singolo gruppo elettrogeno possa determinare una trasmissione vibrazionale al suolo assimilabile a quella generata da tre autocarri. Tale ipotesi è stata tradotta nell'assunzione di un livello di accelerazione vibrazionale ponderata pari a 94,8 dB.

I risultati delle elaborazioni sono riportati nelle tabelle seguenti, nelle quali sono presentati i livelli di accelerazione vibrazionale stimati alla sorgente e presso i recettori R1, R2 ed R3, nonché i contributi delle singole sorgenti per lo scenario ordinario di test programmato, e la loro combinazione nello scenario operativo più gravoso (scenario emergenziale), tenendo in considerazione il fenomeno di smorzamento materiale del terreno:

	Quantità	a0(5m) (dB)	a0(5m) (mm/s2)	ar (cad) (mm/s2)	ar (tot) (mm/s2)	**afin ordinario (mm/s2)**	ar Worst case (mm/s2)	**afin worst case (mm/s2)**
parco generatori di energia elettrica di emergenza	**16 generatori da 2,8 MWe 3 generatori da 0,8 MWe**	94.8	55	1.45	1.45	**0.8**	6.31	**3.6**

Tabella 3.4 – Stima dei livelli di accelerazione vibrazionale in fase di esercizio – R1

	Quantità	a0(5m) (dB)	a0(5m) (mm/s2)	ar (cad) (mm/s2)	ar (tot) (mm/s2)	**afin ordinario (mm/s2)**	ar Worst case (mm/s2)	**afin worst case (mm/s2)**
parco generatori di energia elettrica di emergenza	**16 generatori da 2,8 MWe 3 generatori da 0,8 MWe**	94.8	55	0.76	0.76	**0.3**	3.33	**1.1**

Tabella 3.5 – Stima dei livelli di accelerazione vibrazionale in fase di esercizio – R2

	Quantità	a0(5m) (dB)	a0(5m) (mm/s2)	ar (cad) (mm/s2)	ar (tot) (mm/s2)	**afin ordinario (mm/s2)**	ar Worst case (mm/s2)	**afin worst case (mm/s2)**
parco generatori di energia elettrica di emergenza	**16 generatori da 2,8 MWe 3 generatori da 0,8 MWe**	94.8	55	0.50	0.50	**0.1**	2.18	**0.4**

Tabella 3.6 – Stima dei livelli di accelerazione vibrazionale in fase di esercizio – R3

Nello scenario ordinario, è stato assunto il funzionamento di un singolo gruppo elettrogeno alla volta, in coerenza con il piano di gestione e manutenzione dell'impianto, che prevede l'accensione sequenziale delle unità durante i test programmati. I risultati delle elaborazioni evidenziano che i livelli di accelerazione vibrazionale stimati presso i recettori assumono valori ampiamente inferiori ai limiti di riferimento previsti dalla norma UNI 9614:2017 anche per il periodo notturno, pari a 3,6 mm/s².

Parallelamente, è stato analizzato uno scenario cautelativo, rappresentativo della condizione emergenziale di blackout, nella quale si ipotizza l'attivazione contemporanea di tutti i gruppi elettrogeni. In tale configurazione, i livelli vibrazionali stimati risultano inferiori al limite normativo di riferimento notturno, garantendo la conformità ai criteri della UNI 9614:2017.

Si evidenzia inoltre che lo scenario emergenziale considerato presenta una bassa probabilità di accadimento, essendo legato a condizioni di blackout prolungato della rete elettrica esterna. In aggiunta, nelle condizioni reali di esercizio, non tutti i gruppi elettrogeni risultano contemporaneamente operativi: in particolare, il generatore a servizio della sezione uffici non è attivo in periodo notturno, mentre i generatori a servizio dell'area pozzi non risultano operativi nel periodo estivo. Tali condizioni determinano una riduzione ulteriore dei livelli vibrazionali effettivi rispetto allo scenario cautelativo adottato.

Alla luce delle considerazioni esposte, si può pertanto ritenere che le vibrazioni indotte durante la fase di esercizio dei gruppi elettrogeni non siano tali da determinare effetti significativi in termini di disturbo ai recettori sensibili o criticità rilevanti dal punto di vista vibrazionale.

Impianto di raffreddamento

Per l'impianto di raffreddamento del data center, la valutazione è stata condotta considerando la configurazione impiantistica prevista, basata su sistemi di raffreddamento libero (*free cooling*) integrati, nei periodi più caldi, da sistemi di raffrescamento evaporativo.

Il sistema di raffreddamento è costituito da unità di trattamento aria (DAHU), sistemi di ventilazione e circuiti idraulici di supporto al raffrescamento evaporativo. Tali sistemi includono componenti meccanici, tra cui ventilatori, potenzialmente in grado di generare vibrazioni durante il funzionamento. Tuttavia, tali vibrazioni risultano generalmente di entità contenuta, con livelli tipici dell'ordine di alcuni decimi di mm/s in termini di velocità vibrazionale sulla struttura di installazione, corrispondenti a valori di accelerazione dell'ordine di alcune decine di mm/s^2.

La trasmissione delle vibrazioni verso gli elementi strutturali dell'edificio risulta limitata sia per la natura stessa delle sorgenti, caratterizzate da potenze e masse in gioco relativamente contenute, sia per la configurazione distribuita degli impianti. Eventuali vibrazioni che si propagano nella struttura subiscono inoltre una progressiva attenuazione lungo il percorso attraverso solai, travi e pilastri, per effetto dello smorzamento intrinseco dei materiali e della dispersione energetica lungo gli elementi costruttivi.

Alla luce di tali considerazioni, gli impianti di raffreddamento previsti non sono attesi costituire sorgenti vibrazionali significative alla base dell'edificio né determinare livelli di vibrazione apprezzabili ai recettori esterni.

Viabilità di pertinenza del data center

In fase di esercizio, la viabilità di pertinenza del Data Center di Zibido San Giacomo è attesa generare emissioni vibrazionali di entità limitata, principalmente associate al transito dei veicoli lungo gli accessi e i percorsi carrabili interni ed esterni funzionali al sito.

Le vibrazioni indotte dal traffico veicolare tendono generalmente ad attenuarsi rapidamente in prossimità della sede stradale e risultano influenzate in modo prevalente dalle condizioni manutentive della pavimentazione, con particolare riferimento alla regolarità dello strato di usura, alla presenza di discontinuità, avvallamenti, giunti o ammaloramenti localizzati.

Alla luce della natura limitata delle vibrazioni potenzialmente associate alla viabilità di servizio del data center e del contesto territoriale in cui il sito si inserisce, caratterizzato dalla presenza di un comparto a prevalente destinazione produttiva/industriale, tale sorgente può essere considerata trascurabile ai fini del presente studio.

Resta comunque raccomandata l'adozione di adeguate misure gestionali e manutentive in fase di esercizio, finalizzate a mantenere nel tempo condizioni di regolarità e continuità delle superfici carrabili. In particolare, uno dei principali accorgimenti per il contenimento delle vibrazioni associate al transito veicolare è rappresentato dalla corretta manutenzione del manto stradale. La predisposizione di un piano di manutenzione programmata della pavimentazione, attuata nella vita utile del progetto, consente infatti di preservare le caratteristiche di continuità

e regolarità della sede stradale, prevenendo la formazione di discontinuità, buche, ormaie, cedimenti localizzati o altri fenomeni di degrado potenzialmente in grado di incrementare le sollecitazioni dinamiche indotte dal passaggio dei mezzi.

Tali irregolarità, se non adeguatamente gestite, possono determinare un aumento delle azioni dinamiche trasmesse al corpo stradale e al terreno sottostante, con conseguente possibile propagazione laterale delle vibrazioni. È pertanto opportuno garantire il mantenimento di un adeguato stato manutentivo della viabilità interna e di accesso al sito, anche mediante controlli periodici e interventi tempestivi di ripristino delle pavimentazioni ammalorate.

In fase di esercizio si raccomanda inoltre di adottare buone pratiche gestionali, quali il contenimento delle velocità di percorrenza all'interno dell'area di progetto, la corretta gestione dei flussi veicolari, la manutenzione ordinaria e straordinaria delle superfici carrabili e la tempestiva eliminazione di eventuali discontinuità superficiali. Tali misure consentono di minimizzare ulteriormente il potenziale contributo vibrazionale associato alla viabilità di pertinenza del Data Center, confermando la trascurabilità dell'impatto atteso sui recettori esterni.

4. Conclusioni

La presente valutazione ha carattere preliminare e previsionale ed è stata sviluppata sulla base dei dati tecnici disponibili in fase progettuale, integrati con informazioni desunte dalla letteratura tecnica e mediante l'adozione di ipotesi cautelative nella modellazione della propagazione delle vibrazioni nel terreno.

I risultati dovranno essere confermati, ove richiesto dall'Autorità Competente o qualora le schede tecniche definitive evidenzino livelli vibrazionali differenti da quelli assunti, mediante analisi modellistica di dettaglio, una volta definiti nel dettaglio i mezzi e le modalità operative di cantiere, nonché attraverso verifiche strumentali in fase di collaudo.

La valutazione di impatto vibrazionale condotta evidenzia il rispetto dei limiti di riferimento previsti dalla norma UNI 9614:2017 per tutti i recettori considerati, sia in riferimento alla fase di cantiere sia alla fase di esercizio.

Si evidenzia, inoltre, che le ipotesi adottate nell'ambito della valutazione sono da ritenersi cautelative e a favore di sicurezza. In primo luogo, ai fini della stima previsionale è stato assunto come valore di riferimento per l'accelerazione quello associato al macchinario potenzialmente più impattante, applicandolo in via conservativa anche alle altre sorgenti considerate. Tale approccio consente di rappresentare una condizione cautelativa rispetto alle effettive emissioni vibrazionali attese. In aggiunta, la valutazione ha considerato il contributo cumulativo delle diverse sorgenti vibrazionali, confrontando i livelli stimati con i limiti normativi nello scenario maggiormente gravoso. In fase di cantiere, tale scenario è stato rappresentato dall'ipotesi di funzionamento contemporaneo di tutti i macchinari considerati; in fase di esercizio, invece, è stato assunto lo scenario di emergenza più cautelativo, corrispondente all'attivazione simultanea di tutti i gruppi elettrogeni, ad esempio in condizioni di blackout. Anche in tali condizioni conservative, i livelli vibrazionali stimati risultano compatibili con i limiti di riferimento applicabili.

Si evidenzia infine che gli scenari più gravosi analizzati presentano una bassa probabilità di accadimento e configurano condizioni cautelative. Nella realtà operativa, sia in fase di cantiere sia in fase di esercizio, non si verifica il funzionamento contemporaneo di tutte le sorgenti considerate, determinando livelli vibrazionali effettivi inferiori rispetto a quelli stimati negli scenari cautelativi.

Alla luce delle considerazioni esposte, si può pertanto concludere che l'impatto vibrazionale associato all'opera risulta non significativo e pienamente compatibile con i criteri normativi vigenti, sia durante la fase di cantiere sia in fase di esercizio.